

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

SVERIGE

(19) SE

(12) UTLÄGGNINGSSKRIFT

[B] (21) 8404246-4

(51) Internationell klass ⁴ B25J 9/10



PATENTVERKET

(44) Ansökan utlagd och utläggningsskriften publicerad

86-04-21

(41) Ansökan allmänt tillgänglig

86-02-28

(22) Patentansökan inkom

84-08-27

(24) Löpdag

84-08-27

(62) Stamansökans nummer

(86) Internationell ingivningsdag

(86) Ingivningsdag för ansökan om europeiskt patent

(30) Prioritetsuppgifter

(11) Publiceringsnummer

444 530

Ansökan inkommen som:

☒ svensk patentansökan

☐ fullföljd internationell patentansökan med nummer

☐ omvandlad europeisk patentansökan med nummer

(71) Sökande ASEA AB, 721 83 Västerås SE

(72) Uppfinnare J G. Fäger, Västerås

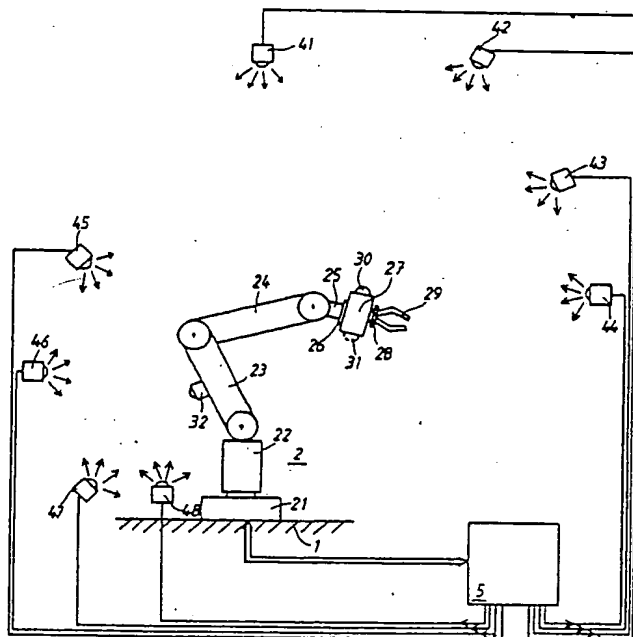
(74) Ombud Öhman B.

(54) Benämning Industrirobot försedd med lägesgivaranordning

(56) Anförda Publikationer: EP 114 505 (B25J 19/00) DE 3 228 373 (G05B 19/19) US 4 453 085 (250-203R)

(57) Sammandrag:

En industrirobot (2) har ett flertal relativt varandra rörliga delar (21-25). Roboten är utrustad med en lägesgivaranordning som har en givare (30) som är monterad på robothanden (27). Givaren mottar signaler från en uppsättning (41-44) av minst tre ljuskällor med kända lägen. Givaren avkänner riktningarna från givaren till de olika ljuskällorna, och ur dessa riktningar samt ljuskällornas kända lägen beräknas robothandens läge och eventuellt orientering relativt ljuskällorna av i utrustningen anordnade beräkningsorgan.



Föreliggande uppfinning avser en industrirobot med ett flertal relativt var-
andra rörliga delar.

5 Vid en industrirobot vill man av flera orsaker kunna bestämma robotens läge
relativt ett känt koordinatsystem. Den kanske viktigaste av dessa orsaker är
att man under drift önskar erhålla en lägesinformation som kan återkopplas
till robotens styrsystem. Det hittills normalt använda sättet att erhålla
den önskade lägesinformationen är att anordna givare, t ex vinkelgivare, för
var och en av robotens frihetsgrader och att med ledning av givarsignalerna
och de kända dimensionerna hos robotens delar beräkna robotens läge relativt
10 robotens fastsättningspunkt. Detta sätt har dock flera nackdelar. Med ut-
trycket "robotens läge" avses här läget hos en viss del av roboten, vanligen
robotens hand eller ett av roboten buret verktyg.

För att få god noggrannhet hos lägesinformationen krävs hög noggrannhet hos
givarna och hög måttnoggrannhet och små glapp hos robotens mekaniska delar.
15 Vidare krävs att roboten är så kraftigt byggd att dess deformation under be-
lastning blir liten. Dessa krav gör att roboten blir relativt tung och klumpig
och får ett högt tillverkningspris.

För att få korrekt lägesinformation relativt ett fast koordinatsystem krävs

vidare att robotens fastsättning (t ex monteringen av robotens fot i ett golv) görs med hög noggrannhet.

Om inte tillverknings- och monterings toleranser hålls mycket små uppstår också problem med utbytbarheten, dvs det blir inte utan vidare möjligt att utan omprogrammering utbyta ett robotexemplar mot ett annat.

Det blir vidare svårt att med bibehållen noggrannhet erhålla ett större arbetsområde för roboten än det som erhålles när roboten står fast monterad.

Uppfinningen avser att åstadkomma en industrirobot med en lägesgivaranordning som gör det möjligt att erhålla hög noggrannhet hos lägesinformationen oberoende av tillverknings- och fastsättningstoleranser och oberoende av deformationer hos robotens delar. Uppfinningen avser vidare att åstadkomma en industrirobot, där robotexemplar utan omprogrammering kan utbytas mot varandra utan att några krav ställs på små tillverknings- och fastsättningstoleranser. Ett ytterligare syfte med uppfinningen är att åstadkomma en industrirobot, vars lägesinformation är oberoende av att läget hos robotens fastsättningspunkt är känt, varigenom roboten kan tillåtas röra sig godtyckligt inom en lokal och dess arbetsområde kan göras mycket större än vad som hittills varit möjligt.

Uppfinningen avser vidare att åstadkomma en enkel och robust givaranordning för alstrande av den önskade lägesinformationen.

Vad som kännetecknar en robot enligt uppfinningen framgår av bifogade patentkrav.

Uppfinningen skall i det följande närmare beskrivas i anslutning till bifogade figurer 1-7. Fig 1 visar en industrirobot med ett exempel på en lägesgivarutrustning enligt uppfinningen. Fig 2a visar principen för den på roboten i fig 1 monterade givaren. Fig 2b visar den i givaren ingående detektorn. Fig 3 visar ett blockschema över lägesgivaranordningen och fig 4 visar hur den är inkopplad till robotens styrsystem. Fig 5 visar vissa av de använda koordinaterna och fig 6 de använda vektorbeteckningarna för ljuskällornas och givarens lägen. Fig 7 visar ett flödesschema för de beräkningar som ur givarsignalerna ger robotens läge.

Fig 1 visar en industrirobot 2, som är fast monterad på ett underlag 1, t ex ett golv. Roboten är av i och för sig känd typ och har en fot 21. En pelare 22 är vridbar runt en vertikal axel i förhållande till foten 21. En underarm 23 är vridbart lagrad till pelaren 22 med hjälp av en horisontell axel. En överarm 24 är lagrad till underarmen 23 och en robothand 25 till överarmen 24, båda med hjälp av i figuren horisontella vridningsaxlar. Vid robothanden 25 är en mellandel 27 fäst, vilken har ett verktygsfäste 28, som uppbär ett gripdon 29. På mellandelen 27 är en optisk givare 30 anordnad, vilken på nedan beskrivet sätt används för att bestämma robothandens läge och orientering i rymden. Roboten har ett styrsystem 5, vilket möjliggör inprogrammering av ett rörelseschema hos roboten med åtföljande drift av roboten i enlighet med detta rörelseschema. Styrsystemet hämtar en successiv följd av lägesbörvärden ur programmet, jämför dessa med avkända ärvärden för robothandens läge och driver motorerna i robotens olika axlar så att robothanden följer de inprogrammerade lägesbörvärdena. För bestämning av robothandens läge och samverkan med givaren 30 är en uppsättning ljuskällor 41-44 anordnade. Ljuskällorna kan lämpligen utgöras av lysdioder och är så anordnade att under drift av roboten minst tre och helst fyra av ljuskällorna hela tiden befinner sig inom givarens 30 synfält. På nedan närmare beskrivet sätt bestämmer givaren 30 riktningarna hos syftlinjerna från givaren till ljuskällorna. Ljuskällornas lägen i ett visst koordinatsystem förutsätts kända och matas lämpligen in i styrsystemet vid programmering eller installation av roboten. Ur dessa på förhand kända lägen och de av givaren 30 bestämda riktningarna beräknar styrsystemet på nedan beskrivet sätt givarens läge i det aktuella koordinatsystemet. Ljuskällorna kan exempelvis vara fast anbringade, och robotens läge beräknas då i ett fast koordinatsystem. Alternativt kan ljuskällorna anbringas vid ett arbetsstycke som roboten skall bearbeta eller hantera, och robotens läge erhålles då i förhållande till arbetsstycket.

På i och för sig känt sätt är roboten försedd med vinkelgivare i sina axlar, vilka till styrsystemet avger information om de aktuella vridningsvinklarna i axlarna. Denna information används av styrsystemet för att fördela ett uppträdande lägesfel på de olika robotaxlarna. Dessa givare kan utföras med väsentligt lägre noggrannhet än vad som varit nödvändigt vid tidigare kända robotar, där givarna används för bestämning av robothandens läge.

Av naturliga skäl kan givaren 30 oftast ej placeras i den punkt, vars läge man egentligen vill bestämma. Denna intressanta punkt utgörs ju t ex av

griphandens hos ett griphand, av spetsen hos en svetsselektrod eller av eggen hos ett bearbetningsverktyg. Med kännedom om givarens läge i rymden och om robothandens orientering kan dock enkelt läget för den nämnda punkten beräknas. Information om robothandens orientering kan, som nedan närmare

5 skall beskrivas, erhållas med hjälp av lägesgivarsystemet enligt uppfinningen. Eftersom givaren 30 företrädesvis placeras så nära den aktuella punkten som möjligt, krävs ibland ingen större noggrannhet hos bestämningen av handens orientering, och därför kan alternativt de i robotaxlarna anordnade vinkelgivarna användas för att ge information om handens orientering.

10 För att möjliggöra en läges- och orienteringsbestämning av robothanden oberoende av dennas orientering relativt signalkällorna kan ytterligare givare anordnas på handen på sådant sätt, att under robotens drift alltid minst en av dessa givare (eller båda tillsammans) har ett tillräckligt antal ljuskällor inom sitt synfält. En sådan ytterligare givare är visad med streckade

15 linjer i figuren och är betecknad med 31.

För bestämning av läge och/eller orientering hos övriga robotdelar kan om så önskas även dessa delar förses med lägesgivarsystem enligt uppfinningen. Som ett exempel har i figuren visats hur en givare 32 är anordnad på underarmen 23. En uppsättning ljuskällor 45-48 är så anordnad att minst tre och

20 helst fyra av ljuskällorna under robotens drift befinner sig inom givarens 32 synfält. Den sålunda för underarmen 23 anordnade lägesgivarutrustningen kan användas för bestämning av underarmens läge och orientering. Vid en åkbar robot kan för bestämning av robotens aktuella läge inom sitt åkområde en dylik givare placeras på t ex foten 21.

25 Alternativt till att montera mer än en givare på robothanden kan givarutrustningen förses med fler än de fyra i fig 1 visade ljuskällorna. Ljuskällor anordnas då i tillräckligt antal, t ex sex-åtta stycken, och med sådana lägen att, oberoende av robothandens läge och orientering, alltid

30 minst tre eller helst fyra av ljuskällorna befinner sig inom givarens synfält. Som nedan skall beskrivas använder givarsystemet för bestämning av läge och orientering tre åt gången av ljuskällorna. Roboten känner hela tiden till sitt läge och givarens orientering och styrsystemet kan därför programmeras att i varje läge välja ut och för lägesbestämningen använda

35 tre inom givarens synfält lämpligt placerade ljuskällor. Som visas i fig 1 har styrsystemet en signalförbindelse med ljuskällorna och är anordnat att

aktivera de ljuskällor som för tillfället är aktuella för mätning. Den nedan beskrivna utföringsformen av givaren 30 kan endast bestämma riktningen till en ljuskälla åt gången, och vid användning av denna typ av givare är därför styrsystemet anordnat att pulsa de tre eller fyra använda ljuskällorna med lämplig frekvens och på sådant sätt att endast en ljuskälla åt gången är tänd.

Av lätt insedda skäl blir noggrannheten i lägesbestämningen större ju närmare robothanden ljuskällorna är anbringade. Det kan därför vara lämpligt att ha en uppsättning ljuskällor placerade på så stort avstånd från roboten att de kan användas inom robotens hela arbetsområde och därutöver en ytterligare uppsättning som är så placerad så nära som möjligt intill den eller de arbetspunkter där hög noggrannhet krävs.

Fig 2a visar principen för givaren 30 i fig 1. Givaren har en vidvinkellins 300, som är symmetrisk runt givarens axel 301. Linsen kan exempelvis vara approximativt halvsfärisk och är så utformad att den har en så stor öppningsvinkel som möjligt. Företrädesvis bör öppningsvinkeln vara minst 2π steradianer. Vinkelrätt mot axeln 301 är en plan tvådimensionell fotodetektor 302 anordnad. Linsen avbildar en ljuskälla åt gången på detektorn, dvs infallande ljus 313 från en ljuskälla bryts samman i en punkt 314 på detektorn. Linsens brännvidd kan göras så kort att tillräckligt god fokusering erhålles för alla aktuella ljuskälleavstånd. En viss oskärpa i avbildningen spelar också mindre roll, eftersom den i fig 2a och 2b visade givaren bestämmer läget hos tyngdpunkten hos ljuskällans avbildning på detektorn.

Detektorn utgörs som visas i fig 2b av en plan platta av kisel med ett centralt egenledande skikt, ett på översidan anordnat P-ledande skikt och ett på undersidan anordnat N^+ -ledande skikt. P-skiktet är försett med långsträckta kontakter 305-306 respektive 303-304 vid sina motstående sidor. N^+ -skiktet är försett med en kontakt 307. Fotoströmmens fördelning mellan de båda motstående kontakterna bestäms av resistansen och därmed av avståndet från ljusfläcken till respektive anslutning.

I fig 2a är de vid beräkningarna använda koordinatsystemen utsatta. Med hjälp av kontakterna 305 och 306 samt en förstärkare 310 och en A/D-omvandlare 312 erhålles en digital signal x, som är ett mått på ljusfläckens avstånd i x-led från axeln 301. Med hjälp av kontakterna 303 och 304, för-

stärkaren 309 och A/D-omvandlaren 311 erhålles på motsvarande sätt en digital y , som är ett mått på ljusfläckens avstånd i y -led från axeln 301. Med hjälp av signalerna x och y kan, som nedan närmare skall beskrivas, ljusfläckens läge på detektorytan i polära koordinater α , ρ bestämmas. Ur dessa koordinater erhålles sedan de sfäriska koordinater φ , θ som definierar riktningen hos syftlinjen 313 till den aktuella ljuskällan.

I stället för den i fig 2 visade tvådimensionella analoga detektorn kan andra motsvarande typer av detektorer användas. Ett exempel är en s k CCD (charge coupled devise) -detektor, vilken kan utföras tvådimensionell. Ett annat exempel på en sådan detektor är en s k fotodiodarray, vilken även den kan utföras tvådimensionell. En fördel med en sådan array är att man inte endast kan avkänna tyngdpunkten hos ljusfläcken utan med hjälp av lämplig signalbehandling kan bestämma läget hos t ex den punkt hos ljusfläcken, där ljusstyrkan är maximal.

Som ett alternativ till den i fig 2 visade givaren kan två endimensionella givare användas. Dessa anordnas då med sina avkänningsriktningar företrädesvis vinkelrätt mot varandra och med givarna så nära varandra som möjligt. Varje givare består då av en cylinderlins och endimensionell fotodetektor, exempelvis en analog detektor eller en endimensionell diodarray.

Fig 3 visar ett blockschema över lägesgivarutrustningen enligt uppfinningen. En styrenhet 50 avger klockpulser och eventuellt för samordning och synkronisering ytterligare nödvändig information till utrustningens övriga enheter. Denna information är i figuren betecknad med cl. Givaren 30 är utförd enligt fig 2 och avger signaler x , y till enheterna 51 och 52. Enheten 52 är en beräkningsenhet, som med hjälp av signalerna x , y samt lagrade data om bl a ljuskällornas lägen beräknar information som definierar robothandens läge \underline{X} och orientering \underline{Z} . Beräkningsenheten 52 bestämmer även genom derivering av vektorerna \underline{X} och \underline{Z} hastighetsvektorerna $\dot{\underline{X}}$ och $\dot{\underline{Z}}$. Dessa fyra vektorer eller signaler tillförs robotens styrsystem för styrning av robotens rörelse. En ljuskällestyrenhet 51 har med var och en av ljuskällorna 41-48 förbundna utgångar (endast ljuskällan 41 är visad i figuren). Denna styrenhet mottar information \underline{X} och \underline{Z} om robothandens läge och orientering samt information x , y om ljusfläckens läge på detektorn. I beroende av denna information utväljer styrenheten 51 lämplig uppsättning ljuskällor och aktiverar dessa, företrädesvis genom periodisk pulsning med lämplig frekvens så att endast en av de utvalda ljuskällorna åt gången är lysande. Styrenheten 51 avger infor-

mation till beräkningsenheten 52, vilken definierar den för tillfället utvalda uppsättningen ljuskällor.

Enheten 30 kan utföras på det i fig 2 visade sättet. Enheten 50 kan utgöras av en enkel klockpulsoscillator eller av en på lämpligt sätt programmerad mikrodator. Enheten 51 kan utgöras av en specialbyggd logisk koppling eller av en mikrodator. Beräkningsenheten 52, som skall utföra de nedan i samband med fig 7 beskrivna beräkningsoperationerna, kan på i och för sig känt sätt bestå av digitala eller analoga kretsar eller av en på lämpligt sätt programmerad mikrodator.

Fig 4 visar hur lägesgivarutrustningen enligt uppfinningen är ansluten till robotens styrsystem. Givaren 30 avger signalerna x , y till beräkningsenheten 52, vilken i sin tur beräknar en vektor \underline{X} som definierar robothandens läge. Denna signal tillförs en komparator 53. Till en andra ingång på komparatorn matas lägesbörvärden \underline{X}_0 från robotens programverk 58 i lämplig takt. Från komparatorn erhålles i varje ögonblick en signal $\Delta \underline{X}$ som definierar lägesavvikelsen hos robothanden. Denna lägesavvikelse tillförs en sk axeluppdelare 54, i vilken avvikelsen transformeras till robotens koordinatsystem, dvs delas upp på ett φ_1 i var och en av robotens axlar. Axeluppdelaren 54 har alltså en utgång för var och en av robotens axlar. I figuren är endast utsignalen $-\Delta r_1$ för axeln 1 visad. Denna signal tillförs axeln 1 regulator 56. Från enheten 52 erhålles även en vektor $\underline{\dot{X}}$ som definierar den momentana hastigheten hos robothanden. I enheten 55 jämförs denna hastighet med ett börvärde $\underline{\dot{X}}_0$ för hastigheten. Skillnaden mellan de båda värden som tillförs enheten 55 uppdelas därefter på robotens olika axlar, dvs transformeras över till robotens koordinatsystem. Enheten 55 har en utgång för var och en av robotaxlarna, men endast utsignalen Δr_1 för axeln 1 är visad i figuren. Denna signal tillförs axeln 1 regulator 56. Regulatorn 56 styr på i och för sig känt sätt enheten 57, som innehåller effektförstärkare och drivmotor för axeln 1. Utsignalen från drivenheten 57 utgörs alltså av en vridning hos robotens axel 1, och denna vridning - i figuren med figuren betecknad med γ_1 - påverkar i sin tur läget och orienteringen hos robothanden och givaren 30. Med hjälp av det i fig 4 visade systemet kommer alltså roboten att styras så att givaren 30 följer den bana som bestäms av de successivt frammatade lägesbörvärdena från programenheten 58.

I fig 4 har för enkelhets skull endast lägesbestämningen och -regleringen visats. Reglering av robothandens orientering kan göras på motsvarande sätt

i beroende av den information om den verkliga orienteringen \underline{z} som erhålles från beräkningsenheten 52 och av börvärden för orienteringen, vilka matas fram av programverket 58.

5 Fig 5 visar några av de beteckningar, som används vid de beräkningar som utförs av beräkningsenheten 52. Figuren visar schematiskt ytan hos detektorn 302 i fig 2, sedd uppifrån. Detektorns rätvinkliga koordinatsystem x, y är markerat, liksom de polära koordinaterna α, ρ för var och en av de tre ljuskällorna a, b, c .

10 Fig 6 visar de tre ljuskällorna a, b och c , vilka i ett visst tidsavsnitt används för läges/orienteringsbestämningen. Vektorerna $\underline{A}, \underline{B}_1$ och \underline{B}_2 definierar läget hos givaren 30, ljuskällan b respektive ljuskällan c i förhållande till ljuskällan a . Vektorn \underline{B}_3 är vektorprodukten av vektorerna \underline{B}_1 och \underline{B}_2 . Vektorerna $\underline{P}_a, \underline{P}_b$ och \underline{P}_c definierar ljuskällornas a, b och c läge i det koordinatsystem där ljuskällorna är anordnade. Vektorn \underline{X} betecknar givarens
15 30 läge i samma koordinatsystem.

Beräkningsenhetens 52 funktion skall nu närmare beskrivas i anslutning till fig 7. Denna enhet kan utföras med specialbyggda kretsar för lösning enligt kända principer av de nedan angivna sambanden. Alternativt kan den utgöras av en på lämpligt sätt programmerbar (mikro)dator. För överskådliggighets skull
20 antas det senare vara fallet, och fig 7 visar ett flödesschema för beräkningsgången hos en sådan (mikro)dator.

De tre vid varje beräkning använda ljuskällorna ger upphov till tre par av sammanhörande x - y -värden på ytan av detektorn 302. Vilka riktningar i rummet som motsvaras av dessa x - y -värden beror delvis på utförandet av givaroptiken.
25 I fortsättningen antas för enkelhets skull att R i fig 2 är konstant (oberoende av θ). Detta behöver dock ej vara fallet, men beräkningarna blir något mer komplexa om så inte skulle vara fallet. $R(\theta)$ är nämligen ingen obekant storhet utan endast en ytterligare parameter att ta hänsyn till vid beräkningarna.

30 Vid beräkningens början erhåller beräkningsenheten information från styr-enheten 51 om vilka tre ljuskällor som används vid beräkningen. Dessa ljuskällor betecknas med a, b, c . En ljuskällas " i " avbildning på detektorytan har i dennas koordinatsystem läget x_i, y_i . Avbildningens läge i polära koordinater ges av följande ekvationer:

$$\alpha_i = \arctan \left(\frac{y_i}{x_i} \right) + \left(1 - \frac{x_i}{|x_i|} \right) \cdot \frac{\pi}{2}$$

$$\rho_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$$

Ur dessa polära koordinater erhålles sedan de sfäriska koordinaterna för syftlinjen till ljuskällan ur ekvationerna:

$$5 \quad \varphi_i = \alpha_i$$

$$\theta_i = f(\rho_i)$$

Funktionen $f(\rho_i)$ beror av optiken och kan en gång för alla uppmätas och lagras i beräkningsenheten. Optiken bör dock vara så utformad att funktionen är monoton i det aktuella intervallet. Härefter beräknas vinklarna T_1 , T_2 och T_3 mellan de tre syftlinjerna från givaren till ljuskällorna med hjälp av följande ekvationer:

$$C_1 = \varphi_a - \varphi_b$$

$$C_2 = \varphi_c - \varphi_a + 2\pi$$

$$C_3 = \varphi_b - \varphi_c$$

15 (a, b, c antas ordnade så att $\varphi_a > \varphi_b > \varphi_c$)

$$T_1 = \arcsin \left[(\sin C_1) \frac{\sin \theta_a}{\arctan \frac{(\cot \frac{C_1}{2}) \sin \frac{\theta_a - \theta_b}{2}}{\sin \frac{\theta_a + \theta_b}{2}} + \arctan \frac{(\cot \frac{C_1}{2}) \cos \frac{\theta_a - \theta_b}{2}}{\cos \frac{\theta_a + \theta_b}{2}}} \right]$$

$$T_2 = \arcsin \left[(\sin C_2) \frac{\sin \theta_c}{\arctan \frac{(\cot \frac{C_2}{2}) \sin \frac{\theta_c - \theta_a}{2}}{\sin \frac{\theta_c + \theta_a}{2}} + \arctan \frac{(\cot \frac{C_2}{2}) \cos \frac{\theta_c - \theta_a}{2}}{\cos \frac{\theta_c + \theta_a}{2}}} \right]$$

$$T_3 = \arcsin \left[(\sin C_3) \frac{\sin \theta_b}{\arctan \frac{(\cot \frac{C_3}{2}) \sin \frac{\theta_b - \theta_c}{2}}{\sin \frac{\theta_b + \theta_c}{2}} + \arctan \frac{(\cot \frac{C_3}{2}) \cos \frac{\theta_b - \theta_c}{2}}{\cos \frac{\theta_b + \theta_c}{2}}} \right]$$

Flödesschemats fyra första rutor har nu behandlats. I det femte steget bildas funktionerna $G_i(A)$ enligt:

$$G(A) = \left[(\cos T_3) (\cos T_2 \pm \sqrt{b_2^2 - A^2 \sin^2 T_2}) \pm \sqrt{b_3^2 - (\cos T_2 \pm \sqrt{b_2^2 - A^2 \sin^2 T_2})^2 (\sin^2 T_3)} \right] -$$

$$5 \quad - \left[\cos T_1 \pm \sqrt{b_1^2 - A^2 \sin^2 T_1} \right]$$

där b_1 är avståndet mellan ljuskällorna a och b

b_2 är avståndet mellan ljuskällorna a och c

b_3 är avståndet mellan ljuskällorna c och b

Denna funktion är egentligen åtta olika funktioner, en för var och en av de
10 åtta kombinationerna av tecken vid de tre ställen i uttrycket där antingen ett plus- eller minustecken kan förekomma (tecknet framför uttrycket

$\sqrt{b_2^2 - A^2 \sin^2 T_2}$ har alltid samma värde på de båda ställen där uttrycket före-

kommer). Dessa funktioner betecknas i flödesschemats femte ruta med $G_i(A)$,
där $i = 1 \dots 8$. För var och en av dessa funktioner bestäms nollställena i

15 de delar av funktionen, där var och en av funktionens båda termer liksom

$\cos T_2 \pm \sqrt{b_2^2 - A^2 \sin^2 T_2}$ är så väl reell (betecknas med $\sqrt{} \geq 0$ i flödessche-

mats sjätte ruta) som positiv (betecknas med $[] \geq 0$ i flödesschemats

sjätte ruta). I nästa ruta undersöks hur många nollställena som totalt har
erhållits. Om endast ett nollställe har erhållits går beräkningsprogrammet

20 vidare till den med B, C betecknade rutan i flödesschemat. Om mer än ett nollställe har erhållits väljs i nästa punkt av beräkningsschemat de noll-

ställena bort där A jämfört med föregående beräkningar skulle medföra en
orealistiskt hög hastighet hos roboten. Om efter denna kontroll endast ett

25 nollställe återstår går beräkningsprogrammet vidare till rutan B, C. Om

flödesschemat är den första passagen utväljs en ny grupp av tre ljuskällor,

i flödesschemat betecknade med a, b, d. Om så är fallet görs den ovan

beskrivna beräkningen om från början för den nya gruppen av ljuskällor.

Därefter utföres den nedan beskrivna lägesbestämningen för båda uppsätt-

ningarna av ljuskällor, varefter den lösning väljes som ger en gemensam position. Om den aktuella passagen genom beräkningsschemat inte är den första passagen har enligt ovanstående beskrivning beräkning av nollställen gjorts för två uppsättningar av ljuskällor, beräkningen går vidare enligt nedanstående beskrivning och till slut den lösning utväljes som ger ett gemensamt läge för de båda uppsättningarna av ljuskällor.

Enligt nästa steg i beräkningen, betecknat med B, C i flödesschemat, tecknas först uttrycken:

$$\eta = \arccos \frac{A_0^2 + b_1^2 - B^2}{2A_0b_1}$$

$$10 \quad \gamma = \arccos \frac{A_0^2 + b_2^2 - C^2}{2A_0b_2}$$

$$\epsilon = \arccos \frac{b_1^2 + b_2^2 - b_3^2}{2b_1b_2}$$

där A_0 är det värde på A där funktionen $G(A) = 0$ och B respektive C ges av uttrycken:

$$B = A_0 \cos T_1 \pm \sqrt{b_1^2 - A_0^2 \sin^2 T_1}$$

$$15 \quad C = A_0 \cos T_2 \pm \sqrt{b_2^2 - A_0^2 \sin^2 T_2}$$

där de dubbeltydiga tecknen i uttrycken för B och C väljes som tecknen i motsvarande uttryck i den ekvation $G_1(A)$ som gav det aktuella nollstället. Härfter bildas storheterna s och k enligt:

$$s = \frac{\eta + \gamma + \epsilon}{2}$$

$$20 \quad k = \sqrt{\frac{\sin(s-\gamma)\sin(s-\eta)\sin(s-\epsilon)}{\sin s}}$$

samt storheterna x och δ enligt uttrycken:

8404246-4

12

$$x = 2 \arctan \frac{k}{\sin(s-\gamma)}$$

$$\delta = \arcsin (\sin x \sin \eta)$$

varvid om $x > \frac{\pi}{2}$ lösningen $\delta > \frac{\pi}{2}$ väljes och om $x \leq \frac{\pi}{2}$ lösningen $\delta \leq \frac{\pi}{2}$ väljes.

- 5 Som framgår av fig 6 ges riktningen från ljuskällan a till b av vektorn \underline{B}_1 och från ljuskällan a till c av vektorn \underline{B}_2 . Riktningen från ljuskällan a till givaren 30 betecknas med enhetsvektorn \underline{A} . Vektorn \underline{B}_3 utgör vektorprodukten av vektorerna \underline{B}_1 och \underline{B}_2 . Vektorn \underline{A} kan nu lösas ur följande ekvationssystem:

$$\begin{pmatrix} B_{1x} & B_{1y} & B_{1z} \\ B_{2x} & B_{2y} & B_{2z} \\ B_{3x} & B_{3y} & B_{3z} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \eta \\ \cos \gamma \\ \cos(\pi - \delta) \end{pmatrix}$$

Givarens 30 läge, vilket betecknas av vektorn \underline{X} erhålles härafter ur:

$$10 \quad \underline{X} = A_0 \cdot \underline{A} + \underline{P}_a$$

Givarens 30 läge har nu bestämts.

Härafter bestäms givarens orientering genom att följande vektorer bildas:

$$\underline{Z}_a = \frac{\underline{P}_a - \underline{X}}{|\underline{P}_a - \underline{X}|}$$

$$\underline{Z}_b = \frac{\underline{P}_b - \underline{X}}{|\underline{P}_b - \underline{X}|}$$

$$15 \quad \underline{Z}_c = \frac{\underline{P}_c - \underline{X}}{|\underline{P}_c - \underline{X}|}$$

Härafter erhålles komponenterna n_a , n_b och n_c hos normalvektorn till givaren detektoryla 302 ur ekvationssystemet:

$$\begin{pmatrix} Z_{ax} & Z_{ay} & Z_{az} \\ Z_{bx} & Z_{by} & Z_{bz} \\ Z_{cx} & Z_{cy} & Z_{cz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_a \\ n_b \\ n_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_a \\ \cos \theta_b \\ \cos \theta_c \end{pmatrix}$$

Givarens vridningsvinkel α runt denna normal till ytan erhålles till slut direkt ur någondera av α_a , α_b och α_c .

Om så är erforderligt erhålles därefter robothandens translations- och vridningshastighet med hjälp av differentiering av signalerna \underline{X} och \underline{Z} .

- 5 Ovan har beskrivits hur givaranordningen enligt uppfinningen används både för läges- och orienteringsbestämning, men givetvis kan utrustningen enbart användas för lägesbestämning.

- 10 I fig 1 har för enkelhets skull en industrirobot med endast fyra axlar visats, men givetvis är uppfinningen lika tillämplig även vid robotar med ett annat antal frihetsgrader. Uppfinningen ger vidare samma fördelar även vid andra arbetsorgan än det i fig 1 visade gripdonet, t ex svetsutrustningar, bearbetningsverktyg, montageverktyg etc.

- 15 Ovan har beskrivits hur vid den visade tvådimensionella analoga fotodetektorn ljuskällorna lämpligen pulsas så att endast en åt gången är lysande. Vid en diodarray (CCD-array) är en dylik pulsning ej nödvändig, eftersom styrutrustningen enkelt kan hålla reda på vilken av alla ljusfläckar på detektorn som tillhör respektive ljuskälla, detta speciellt som roboten typiskt sett rör sig relativt långsamt.

- 20 Givaren enligt uppfinningen kan utformas på ett stort antal andra sätt än det i fig 2 visade. Exempelvis kan den bestå av en samling detektorrutor med motsvarande optik, exempelvis sex stycken rutor av vilka var och en täcker 1/6 av rymden (anordnade som sidorna i en kub).

- 25 Självfallet är det så att ljuskällornas lägen enbart behöver vara kända relativt den arbetspunkt dit man önskar att roboten skall röra sig. Om arbetspunkten för roboten befinner sig på ett rörligt föremål sätts därför med fördel ljuskällorna fast på detta, varigenom automatisk följning av föremålet erhålles. I detta fall torde det dock ofta vara lämpligt att även ha ett antal fasta ljuskällor så att kontroll hela tiden erhålles på robotens läge relativt ett fast koordinatsystem (så att systemet inte driver iväg). Växlingen mellan dessa två system kan ske kontinuerligt, och styrsystemet kan exempelvis samtidigt hålla reda på robotens läge i bägge systemen men enbart styra robotens rörelse med hjälp av det ena systemet, företrädesvis då det som ger den största noggrannheten (om detta är möjligt).
- 30

Ljuskällorna bör enligt kända geometriska principer för att ernå högsta möjliga noggrannhet placeras så att, när roboten befinner sig i sitt önskade arbetsområde, syftlinjerna mellan givaren och de använda ljuskällorna bildar vinklar med varandra som inte är alltför små.

- 5 Uppfinningen har ovan beskrivits i anslutning till en utrustning som arbetar med optisk strålning. Det är därvid självklart att den använda strålningen kan ligga såväl inom som utanför det synliga våglängdsbandet. En utrustning enligt uppfinningen kan emellertid anordnas att arbeta även med andra signaler än ljus. Ett exempel på en sådan signalform är ultraljud. I detta fall
- 10 ersätts ljuskällorna i den ovan beskrivna anordningen med ultraljudgeneratorer, och givarna 30 etc med riktningskännande ultraljudmottagare. Beräkningsgång och fördelar blir i detta fall desamma.

Som framgår av ovanstående beskrivning erbjuder en industrirobot enligt uppfinningen stora fördelar jämfört med hittills kända och använda robotar.

- 15 Genom att robothandens läge direkt bestäms av givaren, som är anordnad vid eller på handen, erhålles en hög noggrannhet hos lägesbestämningen oberoende av tillverknings- och monteringtoleranser hos robotens delar och oberoende av fel i signalerna från de i robotens olika axlar anordnade vinkelgivarna. Likaså bibehålles den höga noggrannheten i lägesbestämningen oberoende av de
- 20 deformationer som vid hög belastning eller höga accelerationer kan uppträda i roboten. Dessa fakta gör det möjligt att åstadkomma en robot som trots betydligt lägre toleranskrav och styvhetskrav uppvisar en mycket hög noggrannhet i lägesbestämningen.

- En ytterligare väsentlig fördel hos uppfinningen är att ett robotexemplar
- 25 direkt kan utbytas mot ett annat, t ex vid driftavbrott, utan att någon som helst omprogrammering erfordras.

- Genom att de signalutsändande organen (ljuskällorna) lämpligen kan anbringas fast förbundna med ett arbetsstycke och nära den aktuella arbetspunkten för roboten erhålles den viktiga fördelen, att roboten automatiskt kommer att
- 30 följa rörelser eller lägesavvikelser hos arbetsstycket. Vidare erhålles genom att placera de signalutsändande organen nära arbetspunkten en mycket hög noggrannhet i närheten av arbetspunkten, där detta är synnerligen önskvärt, medan längre från arbetspunkten en lägre noggrannhet erhålles, vilket kan accepteras utan olägenheter. Genom att enligt uppfinningen lägesbestämningen
- 35 erhålles med önskad hög noggrannhet utan att robotens fastsättningspunkt

behöver vara känd kan roboten i princip tillåtas röra sig fritt i arbetslokalen, varigenom dess arbetsområde kan utsträckas högst väsentligt jämfört med tidigare kända fasta eller begränsat åkbara robotar.

5 Enligt en ytterligare variant av uppfinningen kan de ovan beskrivna signalkällorna (ljuskällorna) vara passiva (återutsändande eller reflekterande) organ, varvid en signalutsändande anordning placeras på annan plats, t ex vid givaren.

Flera andra sätt finns att använda en industrirobot enligt uppfinningen. Ett sådant sätt är att använda givaren enligt uppfinningen enbart som
10 lägesgivare i reglerloopen och att använda konventionella hastighetsgivare, t ex tachometrar i varje robotaxel, som hastighetsåterföring för reglersystemet. Ett annat alternativ är att använda givaren som komplement till konventionella lägesgivare för kalibrering eller kontroll, för att
15 öka noggrannheten vid lägesbestämningen, eller för inmätning för att möjliggöra utbyte av robotar. Ett ytterligare alternativ är att enbart använda givaren som hastighetsgivare.

Vid utbyte av en industrirobot mot ett annat exemplar, vilket skall utföra samma funktion på samma ställe, är det inte nödvändigt att signalkällornas lägen är kända. I detta fall är det nämligen endast nödvändigt för det nya
20 robotexemplaret att kunna återintä de positioner, vid vilka lägena hos signalkällornas avbildningar på detektorn överensstämmer med de som erhöles vid den ursprungliga roboten i motsvarande positioner.

PATENTKRAV

1. Industrirobot (2) med ett flertal relativt varandra rörliga delar (21-25) och försedd med en lägesgivaranordning (30, 52) som innefattar en med en av robotens rörliga delar (25) mekaniskt förbunden givare (30). Givaren (30) är anordnad att mottaga signaler från en uppsättning (41-44) av minst tre skilda signalkällor, vilkas lägen relativt varandra är kända. Varje signalkälla är anordnad att utsända signaler som fortplantar sig rätlinjigt över sträckan mellan signalkällan och givaren (30).

Roboten kännetecknas av att givaren (30) innefattar organ (302, 209-312) anordnade att avge signaler (x, y) som definierar riktningen (θ , φ) relativt givaren hos syftlinjerna från givaren till var och en av signalkällorna. Givaren innefattar vidare beräkningsorgan (52) anordnade att tillföras nämnda riktningsdefinierande signaler (x, y), att med ledning av dessa signaler bestämma vinklarna mellan syftlinjerna från givaren till signalkällorna och att utgående från nämnda vinklar alstra information (X) som definierar givarens läge relativt signalkällorna.

2. Industrirobot enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d därav, att beräkningsorganen (52) är anordnade att utgående från nämnda vinklar alstra information (n_a , n_b , n_c , α), som definierar givarens orientering relativt signalkällorna.
3. Industrirobot enligt något av föregående patentkrav, k ä n n e t e c k n a d därav, att signalkällorna utgörs av källor för elektromagnetisk strålning.
4. Industrirobot enligt något av föregående patentkrav, k ä n n e t e c k n a d därav, att lägesgivarutrustningen är försedd med organ för periodisk aktivering av signalkällorna i tur och ordning så att endast en av signalkällorna åt gången är aktiverad.
5. Industrirobot enligt patentkrav 3, k ä n n e t e c k n a d därav, att signalkällorna utgörs av ljuskällor och att givaren (30) innefattar ett linssystem (300) av vidvinkeltyp, anordnat att avbilda ljuskällorna på ett detektororgan (302), samt organ (309-312) anordnade att avge information (x, y) som definierar läget på detektororganet av en ljuskällas avbildning, vilken information är anordnad att tillföras beräkningsorganen (52).
6. Industrirobot enligt något av patentkraven 3-5, k ä n n e t e c k n a d därav, att detektororganet utgörs av en tvådimensionell detektor (302).
7. Industrirobot enligt något av patentkraven 3-5, k ä n n e t e c k n a d därav, att detektororganet utgörs av två endimensionella detektorer.

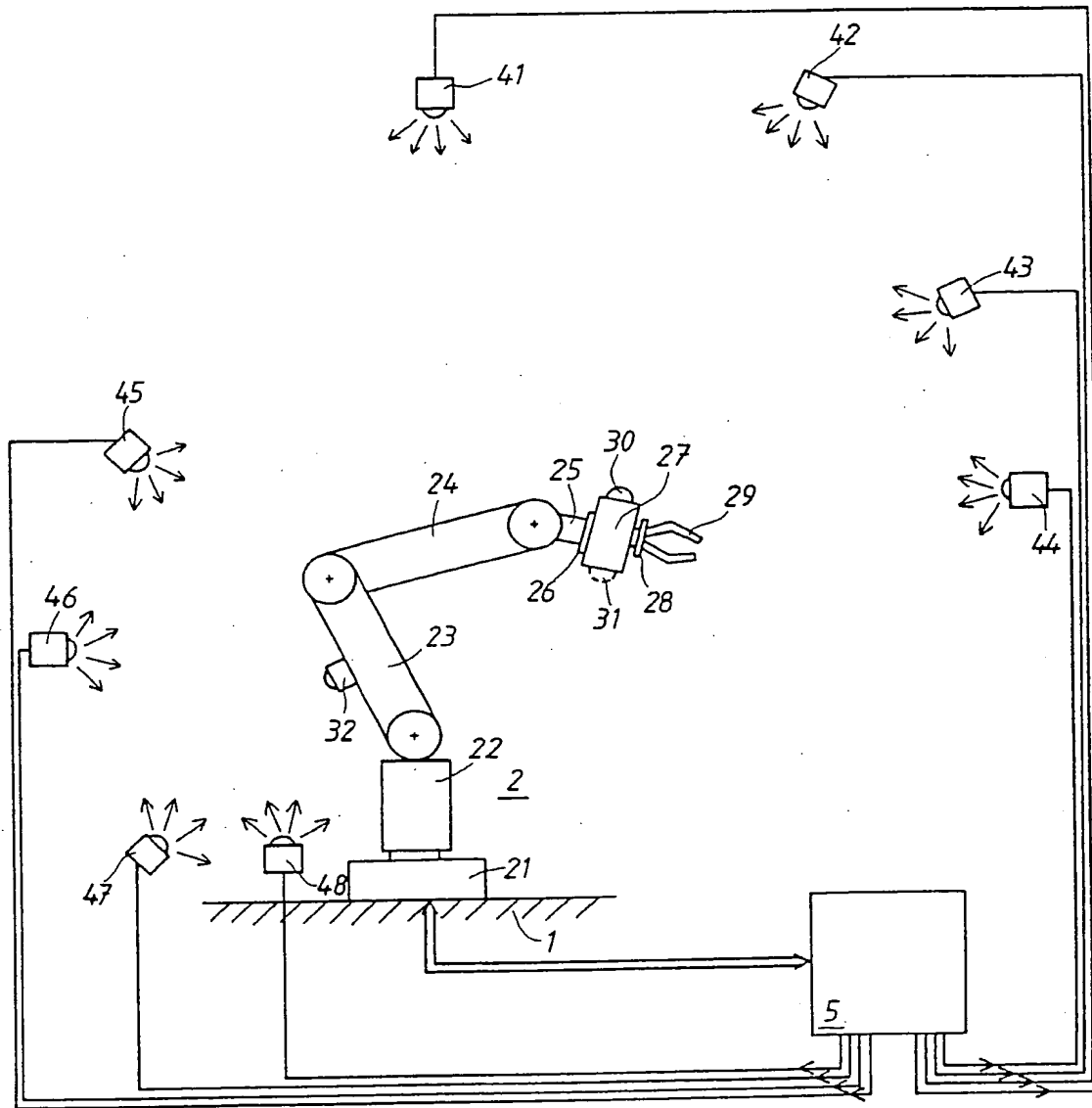


FIG. 1

FIG. 2a

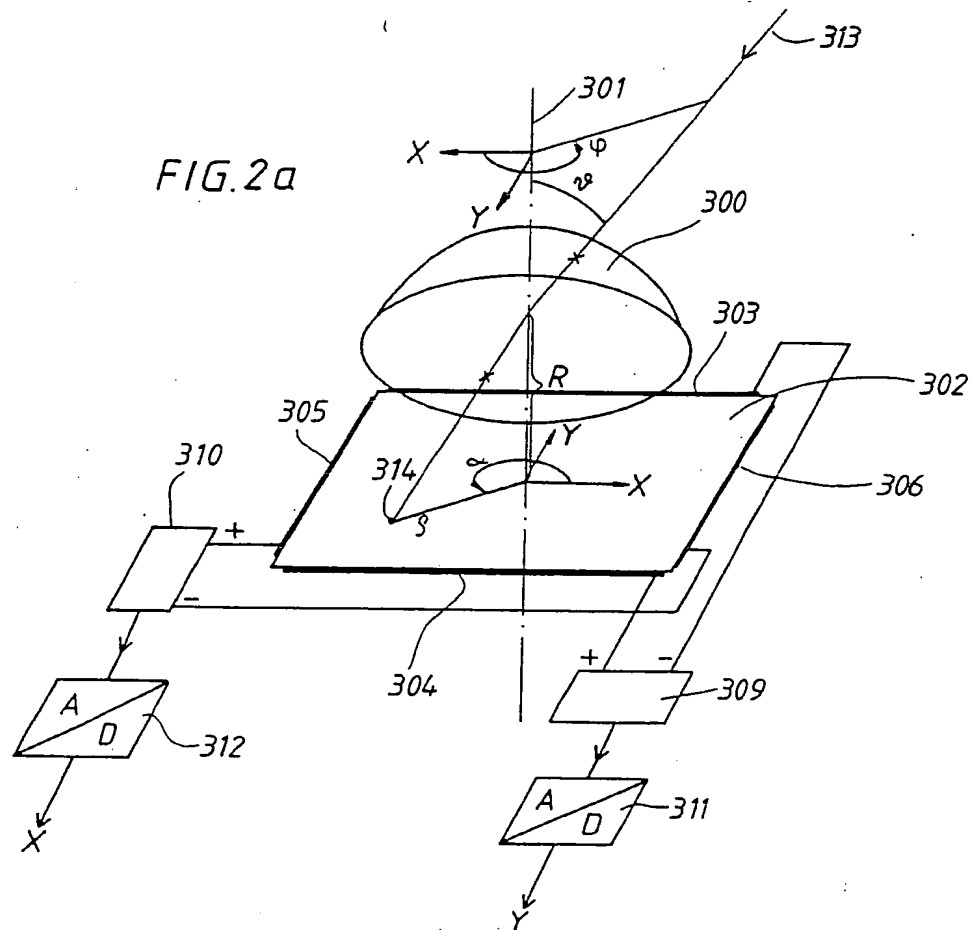
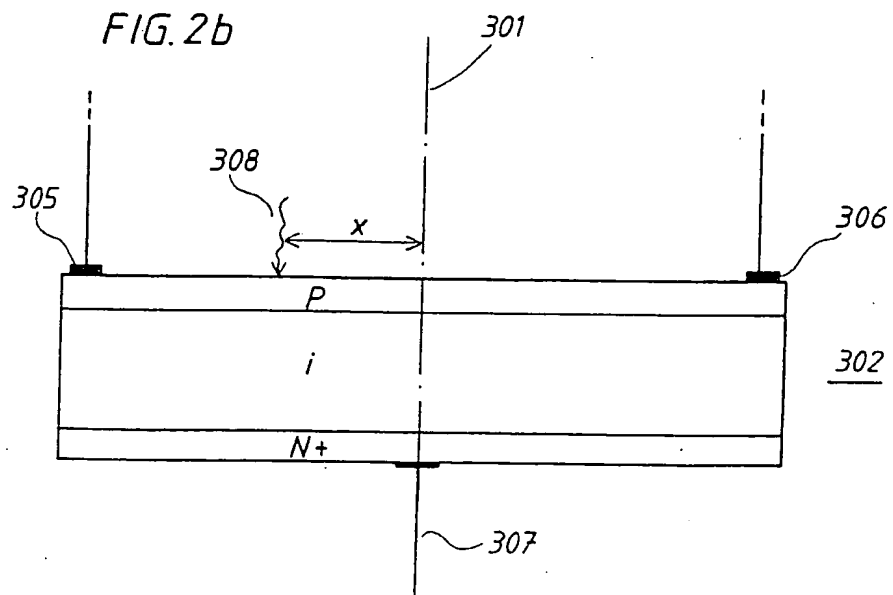
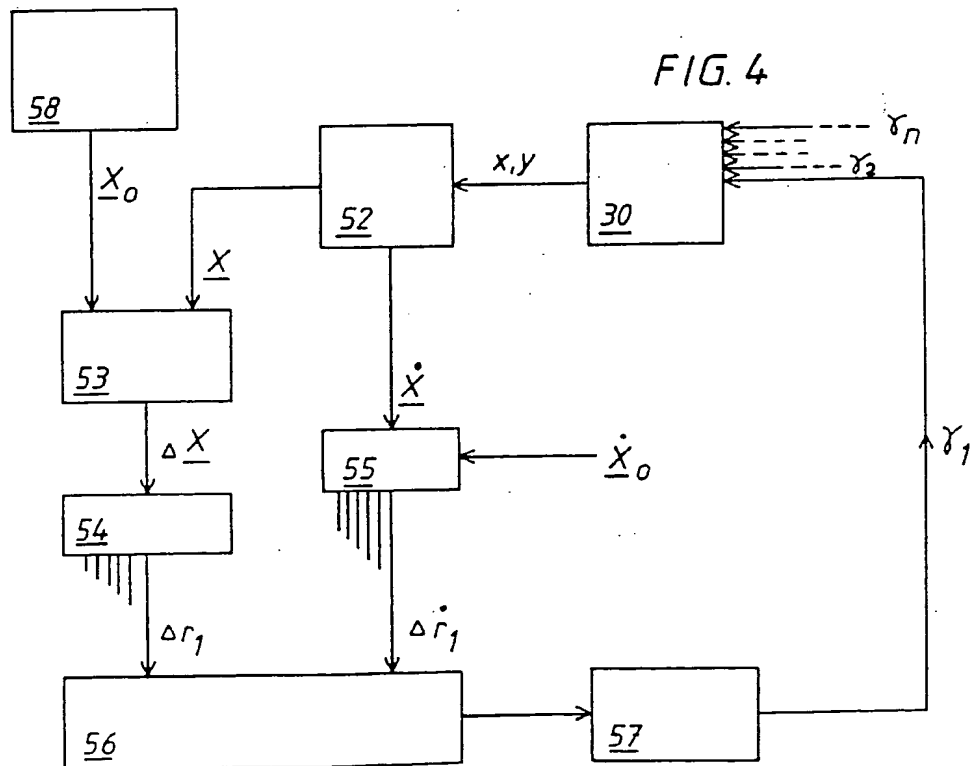
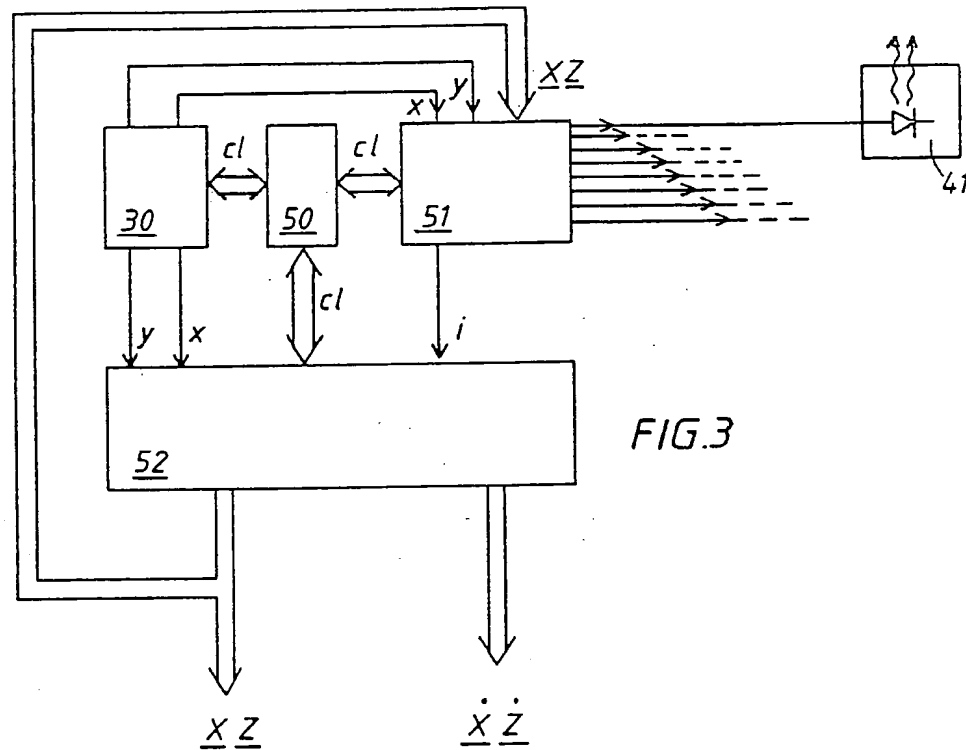


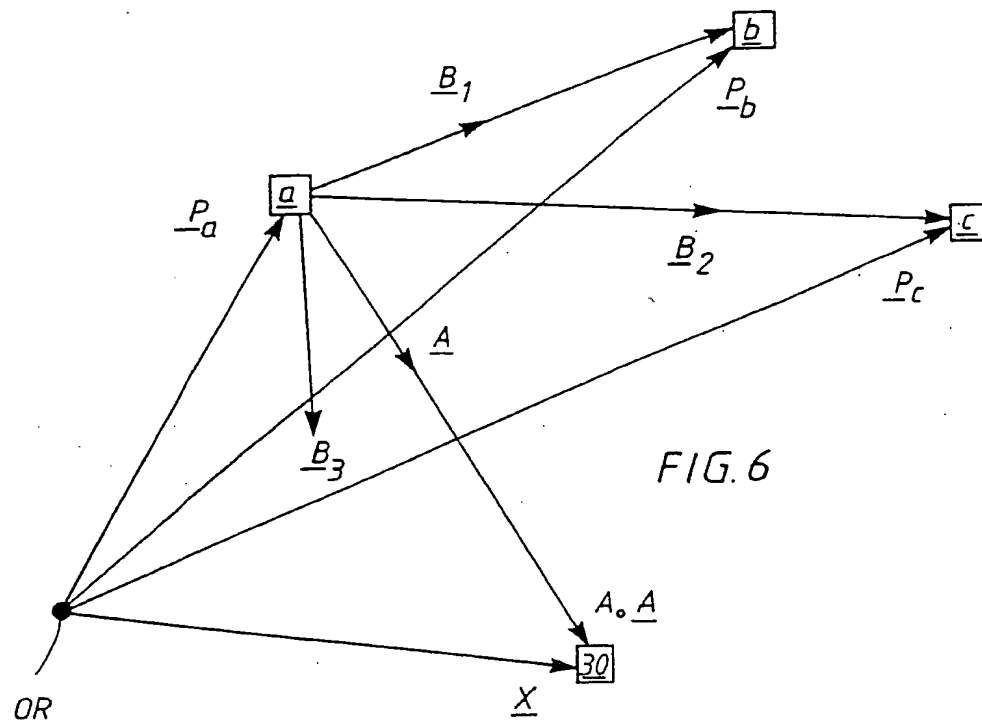
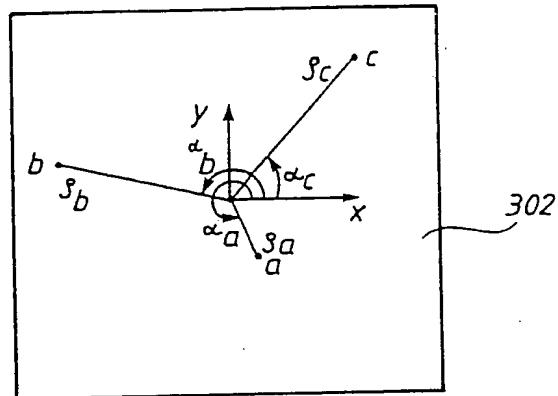
FIG. 2b

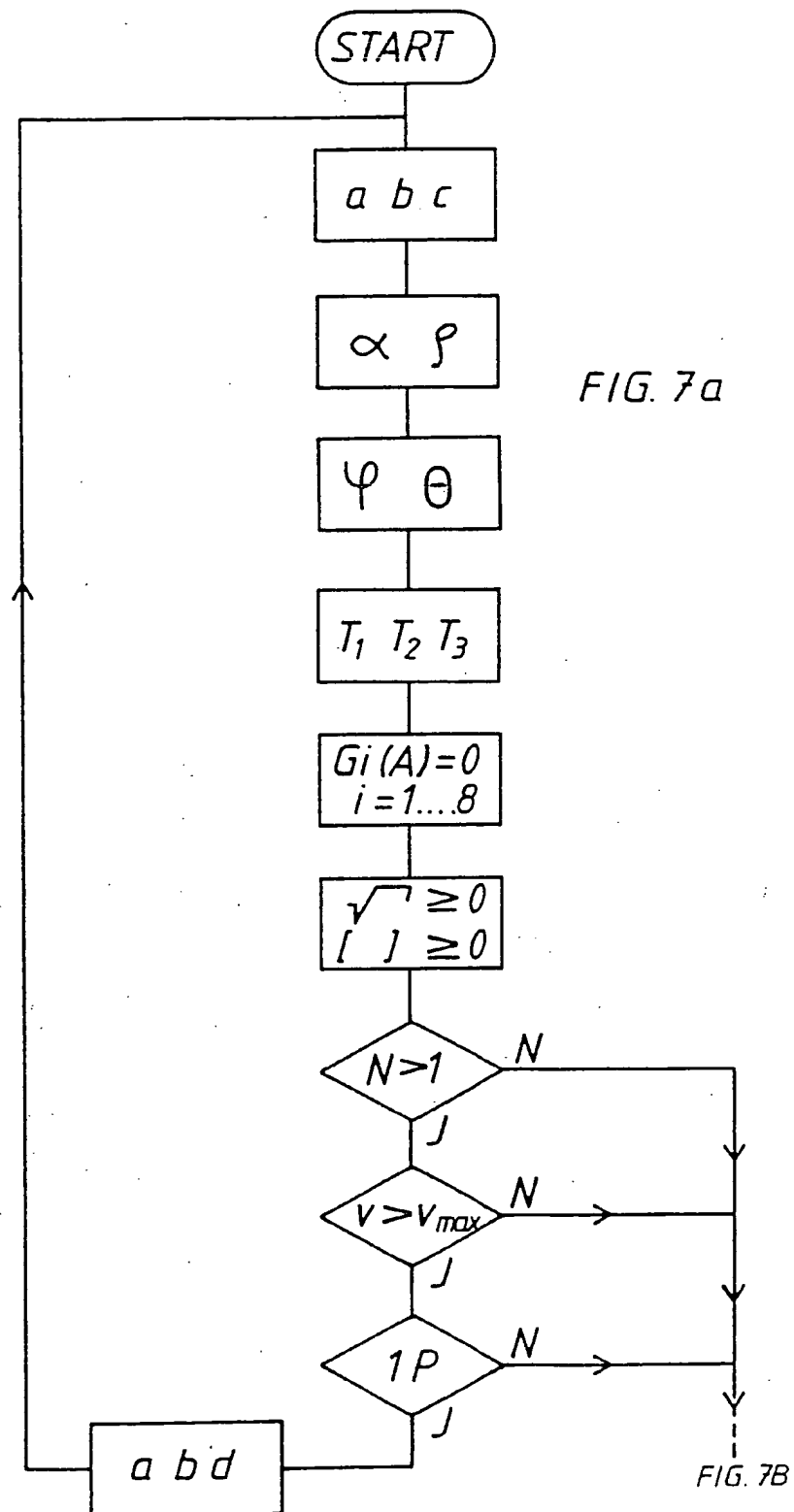




8404246-4

FIG. 5





8404246-4

FIG. 7a

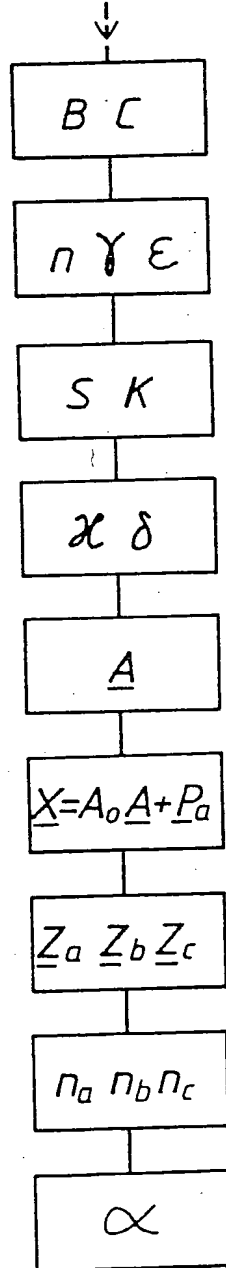


FIG. 7b